

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sungai yang sering terkena dampak banjir ialah sungai yang sedimen dasarnya sudah banyak menumpuk, sedimen dasar akan mengakibatkan pendangkalan pada badan sungai, salah satunya sungai Kumu. Sungai Kumu dimanfaatkan penduduk sebagai tempat aktivitas masyarakat sekitar sungai. Kegiatan masyarakat tersebut menyebabkan jatuhnya material lain ke dalam aliran sungai, pengikisan dinding sungai dan sungai tercemari oleh limbah anorganik maupun organik. Jika sedimen berada di bawah ambang normal akan mengakibatkan terjadinya penurunan permukaan dasar sungai (*degradasi*).

Sungai yang ada pada kategori stabil adalah sungai yang tidak mengalami perubahan kedalaman dasar perairan dan bentukan dari sungai tersebut. Aliran pada sungai, secara umum membawa sejumlah sedimen, baik sedimen suspensi (*suspended load*) maupun sedimen dasar (*bed load*). Di samping berfungsi sebagai media untuk mengalirkan air, sungai juga berfungsi untuk mengangkut material sebagai angkutan sedimen. Berdasarkan mekanisme pergerakannya, angkutan sedimen sungai dibedakan menjadi sedimen suspensi/layang (*Suspended load*) dan sedimen dasar (*bed load*).

Sedimentasi merupakan proses pengangkutan dan pengendapan material tanah pada sungai yang diakibatkan oleh faktor erosi. Erosi yang terjadi di hulu sungai akan menyebabkan terjadinya sedimentasi di hilir sungai. Partikel-partikel tanah atau material lainnya yang jatuh ke sungai akan terbawa oleh aliran sungai. Jika hal ini terjadi secara terus menerus, maka akan terjadi pendangkalan di hilir sungai.

Pendangkalan sungai yang tidak ditanggulangi dapat menyebabkan terjadinya banjir jika hujan turun dengan intensitas tinggi dan dalam rentang waktu yang lama atau dengan kata lain air melimpas ke permukaan dan dapat menggenang ke pemukiman warga sekitar bantaran sungai. Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian ini untuk menentukan karakteristik sedimen

dasar (*bed load*) dan tingkat sedimentasi yang terjadi di Sungai Kumu Kecamatan Rambah Hilir. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan informasi bagi pemerintah setempat dalam mengambil kebijakan selanjutnya untuk penanganan sedimentasi di Sungai Kumu.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan dari latar belakang diatas dapat disimpulkan beberapa rumusan masalah antara lain dengan mengukur parameter :

1. Bagaimana karakteristik sedimen dasar (*bed load*) yang terjadi disungai Kumu Kecamatan Rambah Hilir.
2. Berapa besar tingkat sedimentasi dasar (*bed load*) yang terjadi disungai Kumu Kecamatan Rambah Hilir.

## **1.3 Tujuan Dan Manfaat**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik jenis *bed load* yang ada di sungai Kumu Kecamatan Rambah Hilir.
2. Mengetahui tingkat sedimentasi ( $Q_s$ ) yang terjadi disungai Kumu Kecamatan Rambah Hilir.

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui karakteristik jenis *bed load* yang ada di sungai Kumu Kecamatan Rambah Hilir.
2. Untuk mengetahui tingkat sedimentasi yang terjadi disungai Kumu Kecamatan Rambah Hilir.

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah penelitian ini adalah :

1. Waktu penelitian dan pengambilan sampel dilakukan pada bulan Februari 2019.
2. Karakteristik jenis *Bed Load* di sungai Kumu Kecamatan Rambah Hilir.

3. Pengujian sampel *Bed Load* dilakukan di Laboratorium Hidrolika dan Hidrologi Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian.
4. Penelitian ini tidak mengkaji flora dan fauna dalam analisa sedimen dasar sungai.
5. Sedimentasi yang diambil adalah sedimen dasar sungai, bukan sedimen melayang.
6. Penelitian ini memerlukan data lebar aliran, kedalaman aliran, kecepatan aliran, dan kemiringan sungai.
7. Pengambilan sampel diambil 2 penampang dari aliran sungai Kumu Kecamatan Rambah Hilir dan Sampel diambil selama waktu 1 jam.
8. Analisa perhitungan pada penelitian ini hanya berdasarkan pengambilan data primer di Sungai Kumu.
9. Penelitian ini dilakukan langsung di lokasi sungai Kumu.
10. Perhitungan angkutan sedimen dasar (*bed load*) dalam penelitian ini menggunakan rumus Meyer-Peter dan Muller (M.P.M).
11. Debit yang dipakai ialah debit yang didapat saat pengukuran.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa contoh penelitian terdahulu yang juga melakukan penelitian tentang Analisa Total Angkutan Sedimen Dasar (*Bed Load*). Sebagai berikut :

1. Ardhy Yudha Rukmana (2017). Judul penelitian dengan judul, “Pengukuran Angkutan Sedimen Dasar Pada Aliran Sungai Progo Dengan menggunakan alat helley smith”. Dengan menggunakan metode, analisis korelasi sederhana, Pengambilan data primer dan studi laboratorium, dengan hasil penelitian Berdasarkan hasil analisis pada penelitian di Sungai Progo hilir, dapat disimpulkan sebagai berikut: 1. Nilai Berat Jenis material sedimen pada titik tinjauan Jembatan Kebon Agung II adalah 2,6954. Sedangkan titik tinjauan Jembatan Kebon Agung I adalah 2,6738 keduanya termasuk dalam klasifikasi sebagai Pasir Berlanau (*Sandy Silt*), 2. Dari hasil analisis kapasitas transportasi sedimen dasar (*bed load*) Sungai Progo Hilir diketahui nilai debit aliran dan angkutan sedimen sebagai berikut: a. Jembatan Kebon Agung II kapasitas angkutan sedimen hari pertama pada 26 Maret 2017 sebesar 3,83 ton/hari dengan debit 131,67 m<sup>3</sup>/detik, harikedua pada 26 April 2017 diperoleh sebesar 3,923 ton/hari dengan debit 139,432 m<sup>3</sup>/detik, hari ketiga pada 27 April 2017 dipeoleh sebesar 4,316 ton/hari dengan debit 145,32 m<sup>3</sup>/detik. b. Jembatan Kebon Agung I kapasitas angkutan sedimen hari pertama pada 22 Maret 2017 sebesar 22,548 ton/hari dengan debit 121,018 m<sup>3</sup>/detik, hari kedua pada 23 Maret 2017 diperoleh sebesar 66,506 ton/hari dengan debit 145,446 m<sup>3</sup>/detik, hari ketiga pada 26 Maret 2017 dipeoleh sebesar 153,760 ton/hari dengan debit 213,281 m<sup>3</sup>/detik, 3. Kolerasi (hubungan) Debit dengan Angkutan Sedimen Besar debit aliran dan angkutan sedimen dasar saling berkaitan secara linier atau eksponensial koefisien kolerasi ( $r = 0,912$  pada Jembatan Kebon Agung II dan koefisien ( $r = 0,997$  pada Jembatan Kebon Agung I.

Apabila nilai debit naik maka akan diikuti dengan angkutan sedimennya ini bias dikatakan dengan kolerasi positif.

2. Yoggi Pradhitya Sriyono (2017). Judul penelitian dengan judul, “Analisa Angkutan Sedimen Dasar Sungai Progo Dengan Metode empiris (Meyer-Peter & Muller, Eistein dan Frijlink )”. Dengan menggunakan metode, empiris Meyer-Peter & Muller, Eistein dan Frijlink. Hasil penelitian, 1. Dari hasil analisis gradasi ukuran butir sedimen di Sungai Progo, pada lokasi penelitian diketahui sebagai berikut. Pias Jembatan Bantar gradasi ukuran butir sedimen yang terangkut dengan % Kerikil = 19,35 %, %Pasir = 74,84 dan %Lanau = 5,81% berat jenis 2580 kg/m<sup>3</sup> 119 sedangkan pada Pias Intake Sapon % Kerikil = 1,54%, %Pasir = 94,62% dan %Lanau = 3,85% berat jenis 2580 kg/m<sup>3</sup>. Dapat di simpulkan bahwa sedimen yang terbawa merupakan jenis pasir pada Pias Jembatan Bantar sedangkan Pias Intake Sapon berjenis pasir dengan lanau, 2. Dari hasil analisis kapasitas transport sedimen dasar (*bed load*) menggunakan metode empiris di Sungai Progo, pada lokasi penelitian diketahui sebagai berikut : a. Hasil analisis kapasitas transport sedimen dasar (*bed load*) Metode Meyer-Peter and Muller sebagai berikut : Pias Jembatan Bantar pada pengukuran kapasitas angkutan sedimen sebesar 412,530 m<sup>3</sup>/day, sedangkan Pias Intake Sapon pada pengukuran kapasitas angkutan sedimen sebesar 634,138 m<sup>3</sup>/day. b. Hasil analisis kapasitas transport sedimen dasar (*bedload*) Metode Einstein sebagai berikut : Pias Jembatan Bantar pada pengukuran kapasitas angkutan sedimen sebesar 101,959 m<sup>3</sup>/day, sedangkan Pias Intake Sapon pada pengukuran kapasitas angkutan sedimen sebesar 227,864 m<sup>3</sup>/day. c. Hasil analisis kapasitas transport sedimen dasar (*bed load*) Metode Frijlink sebagai berikut : Pias Jembatan Bantar pada pengukuran kapasitas angkutan sedimen sebesar 237,512 m<sup>3</sup>/day, sedangkan Pias Intake Sapon pada pengukuran kapasitas angkutan sedimen sebesar 362,138 m<sup>3</sup>/day, 3. Terjadinya peningkatan nilai angkutan sedimen dikarenakan pengukuran lapangan pada sesi I tanggal 10 April 2017 di Jembatan Bantar dalam kondisi

aliran normal tetapi pada sesi II tanggal 12 April 2017 di Intake Sapon dalam kondisi aliran banjir. Sehingga debit masuk ( $Q_{in}$ ) pada pias Jembatan Bantar lebih besar daripada debit keluar ( $Q_{out}$ ) pada pias Intake Sapon.

3. Muhammad Ridwan Nurdin (2015). Judul penelitian dengan judul, “Analisis Sedimen Dasar (*bed load*) Dan Alternative Pengendaliannya Pada Sungai Cikapundung Bandung Jawa Barat-Indonesia”. Dengan menggunakan metode Einsten-Barbosa (1952). Dengan hasil penelitian, Dari perhitungan yang telah dilakukan, jumlah sedimen dasar pada suatu titik sungai Cikapundung saluran Viaduct Kota Bandung, dengan panjang penelitian 214 m, terjadi penumpukan sedimen dasar sebanyak 971,2675 m<sup>3</sup>/tahun atau volume sedimen dasar di segmen penelitian sejumlah 4,539 m<sup>3</sup>/m, sepanjang segmen 214 meter, itu menurut perhitungan yang dilakukan dengan data yang diberikan Dinas Bina Marga dan Pengairan Kota Bandung. Sedangkan untuk muatan *bed load* Sungai Cikapundung menurut hasil analisis penulis dengan panjang penelitian 14.9352 m memiliki rata-rata nilai  $G_s = 0,0119696$  kg/s atau 377,4733056 ton/tahun. Untuk volume sedimen dasar menurut analisis yang telah dilakukan didapat sebesar 1086,62544 m<sup>3</sup>/tahun atau sebesar 72,756 m<sup>3</sup>/m, dengan panjang segmen 14,9352 m. Pengendalian sedimen yang direkomendasikan untuk sedimen dasar berikut adalah dengan dibangunnya *wall separator* di tiap tikungan, dengan alasan mempertahankan ke aslian sungai.
4. Hardhi Rafsanjani (2017), Judul penelitian dengan judul “Analisis Angkutan Sedimen Pada Sungai Sesayap Kabupaten Malinau Kalimantan Utara”. Dengan menggunakan metode Einsten Approach Dan Frijlink Approach. Dengan hasil penelitian, 1. Dengan mengasumsikan diameter ekuivalen butiran sebesar 8 mm, volume angkutan sedimen daerah Seluwing dan daerah Pelabuhan dari tanggal 27 Agustus 2016 hingga 31 Desember 2016 dengan menggunakan Pendekatan Einstein adalah

sebesar 1582263 m<sup>3</sup> dan 1219181 m<sup>3</sup>, sedangkan dengan Pendekatan Frijlink adalah sebesar 1391940 m<sup>3</sup> dan 1080200 m. Didapatkan laju endapan sedimen dengan Pendekatan Einstein sebesar 2859 m<sup>3</sup>/hari dan dengan Pendekatan Frijlink sebesar 2455 m<sup>3</sup>/hari, 2. Berdasarkan analisis yang dilakukan, kondisi yang terjadi pada lokasi penelitian adalah agradasi. Hasil ini sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan, sebab pada lokasi penelitian terjadi pembentukan pulau sedimen, 3. Berdasarkan penghitungan volume endapan dan volume material yang tererosi pada dasar Sungai Sesayap, dengan membandingkan data topografi tahun 2016 dengan tahun 2008, apabila diambil acuan pada elevasi -2, didapatkan volume material sedimen yang tererosi selama kurun waktu delapan tahun adalah sebesar 41835 m<sup>3</sup>, sehingga didapatkan laju material sedimen yang tererosi adalah sebesar 14.32 m<sup>3</sup>/hari, sedangkan volume endapan yang terjadi selama kurun waktu delapan tahun adalah sebesar 116996.75 m<sup>3</sup>, sehingga didapatkan laju endapan sedimen adalah sebesar 40.07 m<sup>3</sup>/hari. Perbedaan yang cukup besar antara hasil analisis dengan kondisi yang ada di lapangan disebabkan banyak faktor yang mempengaruhi angkutan sedimen dasar, misalnya kegiatan penambangan pasir yang ada di Sungai Sesayap maupun kegiatan lainnya yang berdampak pada pola angkutan sedimen dasar yang terjadi.

5. Astika Murni Lubis (2016). Judul penelitian dengan judul “Analisis Sedimentasi Di Sungai Way Besai”. Dengan menggunakan metode USLE. Dengan hasil penelitian, 1. Dari perhitungan didapatkan nilai debit sedimen layang DAS Way Besai adalah  $Q_s = 8.742,110 \text{ m}^3 \text{ DAS}$  Way Besai adalah  $Q_d = 156.569,083 \text{ m}^3/\text{tahun}$ , 2. Besarnya nilai sedimen terukur yang didapat dari hasil pengukuran di lapangan didapatkan hasil sebesar 165.311,193 m<sup>3</sup>/tahun, 3. Nilai Sedimentasi yang didapat dengan metode USLE adalah sebesar 105.520,738 m<sup>3</sup>/tahun, 4. Bahaya sedimentasi yang terjadi di sungai Way Besai termasuk pada tingkat sedang namun mendekati berat.

## **2.2 Keaslian Penelitian**

Adapun perbedaan penelitian yang ini dengan penelitian sebelumnya adalah:

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika dan Hidrologi Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian.
2. Pengambilan sampel hanya di sungai Kumu Kecamatan Rambah Hilir.
3. Waktu pelaksanaan tahun 2019.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Sungai**

Sungai adalah aliran air yang besar dan memanjang yang mengalir secara terus-menerus dari hulu (sumber) menuju hilir (muara). Ada juga sungai yang terletak di bawah tanah, disebut sebagai "*underground river*". Misalnya sungai bawah tanah di Gua Hang Soon Dong di Vietnam, sungai bawah tanah di Yucatan (Meksiko), sungai bawah tanah di Gua Pindul (Indonesia). Pada beberapa kasus, sebuah sungai secara sederhana mengalir meresap ke dalam tanah sebelum menemukan badan air lainnya. Melalui sungai merupakan cara yang biasa bagi air hujan yang turun di daratan untuk mengalir ke laut atau tampungan air yang besar seperti danau. Sungai terdiri dari beberapa bagian, bermula dari mata air yang mengalir ke anak sungai. Beberapa anak sungai akan bergabung untuk membentuk sungai utama. Aliran air biasanya berbatasan dengan saluran dengan dasar dan tebing di sebelah kiri dan kanan. Pengujung sungai di mana sungai bertemu laut dikenali sebagai muara sungai (Wikipedia).

Sungai merupakan salah satu bagian dari siklus hidrologi. Air dalam sungai umumnya terkumpul dari presipitasi, seperti hujan, embun, mata air, limpasan bawah tanah, dan di beberapa negara tertentu juga berasal dari lelehan es/salju. Selain air, sungai juga mengalirkan sedimen dan polutan. Kemanfaatan terbesar sebuah sungai adalah untuk irigasi pertanian, bahan baku air minum, sebagai saluran pembuangan air hujan dan air limbah, bahkan sebenarnya potensial untuk dijadikan objek wisata sungai. Di Indonesia saat ini terdapat 5.950 daerah aliran sungai (DAS).

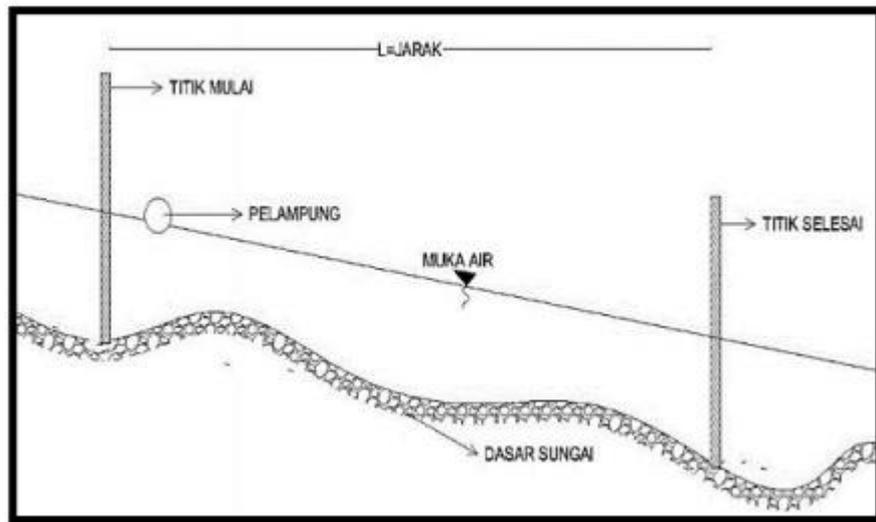
#### **3.2 Hidrometri**

Hidrometri adalah cabang ilmu (kegiatan) pengukuran air, atau pengumpulan data dasar bagi analisis hidrologi (Sri Harto, 1993). Dalam pengertian sehari-hari, kegiatan hidrometri pada sungai dapat diartikan sebagai kegiatan untuk mengumpulkan data mengenai sungai, baik yang menyangkut tentang ketinggian muka air maupun debit sungai serta sedimentasi atau unsur

aliran lain. Beberapa macam pengukuran yang dilakukan dalam kegiatan hidrometri adalah sebagai berikut :

1. Pengukuran Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran merupakan komponen aliran yang sangat penting. Hal ini disebabkan oleh pengukuran debit secara langsung pada suatu penampang sungai tidak dapat dilakukan (paling tidak menggunakan cara konvensional).



Gambar 3.1 Metode pengukuran kecepatan aliran dengan pelampung (*float*) (Sri Harto, 1993)

Kecepatan ini diukur dalam dimensi satuan panjang setiap satuan waktu, umumnya dinyatakan dalam satuan meter per detik (m/d). Pengukuran kecepatan aliran dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya ialah pengukuran menggunakan pelampung (*float*). Pelampung digunakan sebagai alat pengukur kecepatan aliran apabila diperlukan kecepatan aliran dengan ketelitian yang relatif kecil. Perhitungan kecepatan aliran sungai dengan membagi antara jarak dengan waktu tempuh rata-rata. (Sri Harto, 1993).

$$v = \frac{l}{t} (m/d) \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan :

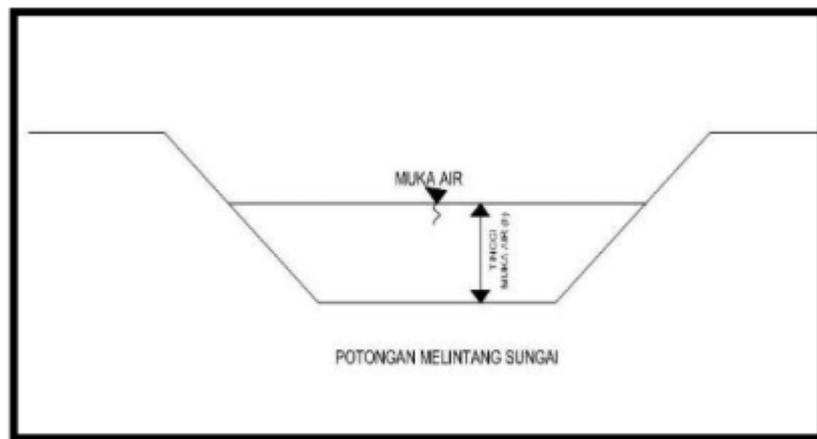
$L$  = Jarak (panjang lintasan)

$t$  = Waktu Tempuh (d)

$v$  = Kecepatan Aliran (m/d)

## 2. Pengukuran Tinggi Muka Air

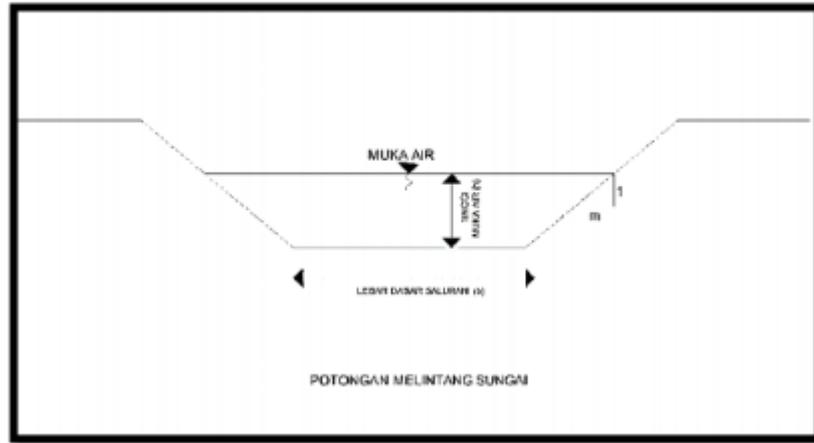
Pengukuran luas penampang basah memerlukan data tinggi muka air, pengukuran tinggi muka air dapat dilakukan dengan beberapa cara, tergantung dari kondisi aliran sungai yang akan diukur, salah satu cara yaitu dengan menggunakan tongkat (pipa) yang dilengkapi dengan rambu ukur (Sri Harto, 1993).



Gambar 3.2 Tinggi muka air (potongan melintang)

## 3. Pengukuran Lebar Aliran Permukaan

Pengukuran lebar aliran juga digunakan untuk mengetahui lebar dasar saluran yang nantinya digunakan untuk mendapatkan luas penampang. Pengukuran lebar aliran dilaksanakan menggunakan meteran (oddo meter atau meteran roda) (Sri Harto, 1993).



Gambar 3.3 Lebar saluran (potongan melintang)

#### 4. Pengukuran Debit

Debit (*discharge*), atau besarnya aliran sungai (*stream flow*) adalah volume aliran yang mengalir melalui suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Debit dinyatakan dalam satuan m<sup>3</sup>/detik atau liter/detik. Aliran adalah pergerakan air di dalam alur sungai. Pada dasarnya perhitungan debit adalah pengukuran luas penampang dikalikan dengan kecepatan aliran sungai yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = A \times v \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan :

Q = Debit (m<sup>3</sup>/d)

A = Luas Penampang (m<sup>2</sup>)

v = Kecepatan Rata-Rata (m/d)

Nilai A (luas penampang aliran di ambil setiap maksimal 10 m) agar didapat kondisi yang lebih mendekati kondisi asli di lapangan maka menggunakan persamaan berikut :

$$A = h(b + m \times h) \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan :

- A = Luas Penampang (m<sup>2</sup>)
- h = Kedalaman Aliran (m)
- b = Lebar Dasar Aliran (m)
- m = Kemiringan Tebing (vertikal/horizontal)

Dengan demikian perhitungan debit adalah pengukuran dan perhitungan kecepatan aliran, lebar aliran, dan pengukuran tinggi muka air yang akan digunakan untuk perhitungan luas penampang (Sri Harto, 1993).

Pengukuran debit dapat dilakukan secara langsung dan secara tidak langsung, pengukuran debit secara langsung adalah pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan peralatan berupa alat pengukur arus (*flow meter*), pelampung, zat warna, dll, debit hasil pengukuran dapat dihitung segera setelah pengukuran selesai dilakukan.

Kecepatan aliran dengan alat *flow meter* dihitung berdasarkan jumlah putaran baling-baling per waktu putarannya ( $N = \text{putaran}/dt$ ).

$$\text{Kecepatan aliran } V = aN + b \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan :

- VS = Kecepatan aliran (m/detik).
- a, b = Konstanta yang biasanya telah ditentukan dari pabriknya atau ditentukan dari kalibrasi setelah alat ukur arus digunakan sampai periode waktu tertentu.
- N = Jumlah putaran (n/detik).
- n = Jumlah putaran alat.

$$\begin{aligned} \text{Untuk } N < 0.93 \quad V &= 0.2491 N + 0.0171 \text{ m/detik} \\ N \geq 0.93 \quad V &= 0.2583 N + 0.0086 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

Hitung jumlah putaran dan waktu putaran baling-baling (dengan *stopwatch*).

### **3.3 Angkutan Sedimen**

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit atau jenis erosi lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, disaluran air sungai dan waduk, tergantung dari ukuran partikelnya. Adapun menurut pergerakannya sedimen dibagi menjadi dua kategori yaitu angkutan sedimen dasar (*bed load*) dan angkutan sedimen layang (*suspended load*) (Asdak, 2007).

Angkutan sedimen dasar (*bed load*) adalah partikel yang bergerak pada dasar sungai dengan cara berguling, meluncur dan meloncat sedangkan angkutan sedimen layang (*suspended load*) adalah sedimen yang bergerak melayang di atas dasar sungai terbawa bersama aliran air (Asdak, 2007).

#### **3.3.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Sedimentasi**

Proses terjadinya sedimentasi merupakan bagian dari proses erosi tanah. Timbulnya bahan sedimen adalah sebagai akibat dari erosi tanah yang terjadi. Proses erosi dan sedimentasi di Indonesia yang lebih berperan adalah faktor air, sedangkan faktor angin relatif kecil. Faktor-faktor yang mempengaruhi sedimentasi yaitu :

- a. Iklim
- b. Tanah
- c. Topografi
- d. Tanaman
- e. Macam penggunaan lahan
- f. Kegiatan manusia
- g. Karakteristik hidrolika sungai
- h. Kegiatan gunung berapi.

### **3.4 Analisa Ukuran Butiran Sedimen Dan Berat Jenis**

Analisa butiran merupakan analisis dasar untuk mengidentifikasi tanah dalam sistem klasifikasi. Analisa saringan agregat merupakan penentuan presentase berat butiran agregat yang lolos dari alat saring yang kemudian persentasenya di gambarkan kedalam sebuah grafik pembagi butiran (SNI 03 –

1969-1990). Pengujian menggunakan satu set alat saringan standart ASTM (*American Society for Testing and Materials*), oven untuk mengeringkan benda uji, cawan untuk menyimpan benda uji setelah ditimbang maupun sebelum ditimbang, alat timbang untuk menimbang benda uji yang tertahan di setiap saringan.

Agregat adalah butiran alami. Salah satu cara yang banyak dilakukan untuk membedakan jenis agregat adalah dengan didasarkan pada ukuran butirannya. Agregat yang mempunyai ukuran butiran yang lebih besar disebut agregat kasar sedangkan yang mempunyai ukuran butiran yang lebih kecil disebut dengan agregat halus. Tjokrodimulyo (2007) mengatakan dalam pelaksanaan di lapangan pada umumnya agregat dikelompokkan menjadi 3 yaitu :

- a. Batu, untuk ukuran butiran lebih dari 40 mm.
- b. Kerikil, untuk ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm.
- c. Pasir, untuk ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Setiap jenis tanah memiliki grafik tertentu sendiri. Hal ini disebabkan tanah yang satu dengan tanah yang lain memiliki ukuran butiran dan bentuk yang berbeda maka distribusi butirannya pun akan berbeda. Salah satu cara untuk menentukan gradasi butiran adalah dengan analisis saringan.

#### 1. Analisa Saringan

Menurut Muntohar (2009) penyaringan merupakan metode yang biasanya secara langsung untuk menentukan ukuran partikel dengan didasarkan pada batas bawah ukuran lubang saringan yang digunakan, batas terbawah dalam saringan adalah ukuran terkecil untuk partikel pasir. Dalam analisis saringan, sejumlah yang memiliki ukuran lubang yang berbeda-beda disusun dengan ukuran yang terbesar diatas yang kecil. Sampel tanah dikeringkan dalam oven, gumpalan tanah dihancurkan dan sampel tanah akan lolos melalui susunan saringan setelah digetarkan. Tanah yang tertahan pada masing-masing saringan ditimbang dan selanjutnya dihitung persentase tanah yang tertahan pada saringan tersebut. Bila  $W_i$  adalah berat tanah yang tertahan pada saringan

ke  $i$  (dari atas susunan saringan) dan  $W$  adalah berat tanah total, maka persentase berat yang tertahan adalah :

$$\% \text{ berat tertahan pada saringan} = \frac{w_i}{W} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.5)$$

Dengan :

$W_i$  = Berat Tertahan (gram).

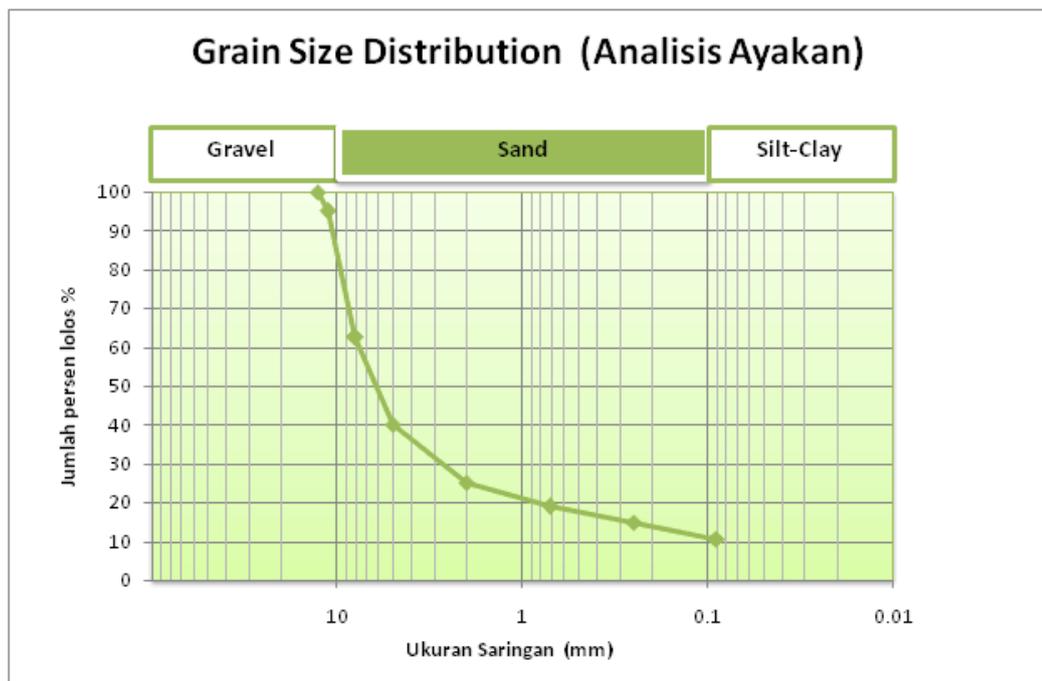
$W$  = Berat Total Tertahan (gram).

Tabel 3.1 Contoh Isian Pengujian Analisa Saringan

| No saringan<br>(mm) | Berat tertahan<br>saringan (mm) | % Tertahan<br>(gr) | % Tertahan<br>komulatif | % Lolos<br>komulatif |
|---------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|
| 75.2 (3'')          |                                 |                    |                         |                      |
| 63.5 (2 1/2')       |                                 |                    |                         |                      |
| 50.8 (2'')          |                                 |                    |                         |                      |
| 36.1 (1 1/2')       |                                 |                    |                         |                      |
| 25.4 (1'')          |                                 |                    |                         |                      |
| 19.1 (3/4'')        | 9,97                            | 9,97               | 40                      | 96,00                |
| 12.7 (1/2')         |                                 |                    |                         |                      |
| 9.52 (3/8')         | 22,95                           | 32,9               | 43,20                   | 86,80                |
| 4                   | 43,54                           | 76,46              | 30,6                    | 69,40                |
| 8                   | 49,58                           | 126,04             | 50,40                   | 49,60                |
| 20                  | 33,07                           | 496,11             | 63,60                   | 36,40                |
| 30                  |                                 |                    |                         |                      |
| 40                  | 18,49                           | 177,54             | 71,00                   | 29,00                |
| 50                  |                                 |                    |                         |                      |
| 80                  | 17,19                           | 194,73             | 77,90                   | 22,10                |
| 100                 | 2,76                            | 197,49             | 79,00                   | 21,00                |
| 200                 | 3,31                            | 200,80             | 80,30                   | 19,70                |
| PAN                 |                                 |                    |                         |                      |

Sumber : Metode pengujian tentang analisi saringan agregat halus dan kasar (SNI 03 – 1969 – 1990).

Hasil pengujian digambarkan pada grafik presentase yang lebih kecil dari pada saringan yang diberikan (partikel yang lolos saringan) pada sumbu partikel dan ukuran partikel ada sumbu *horizontal* (dalam skala logaritma). Grafik ini dinamakan dengan kurva distribusi ukuran partikel atau kurva gradasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Contoh grafik pembagian butir metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar (Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar SNI 03 – 1969 – 1990).

## 2. Menentukan Berat Jenis

Berat jenis adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan volume tanah padat atau berat air dengan isi sama dengan isi tanah padat tersebut pada suhu tertentu, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis butiran tanah.

1. Bersihkan bagian luar dan dalam piknometer, lalu keringkan. Timbang piknometer hingga ketelitian 0,01 gr (Wp). Lakukan hingga 5 kali, dan catat masing-masing beratnya.

2. Prosedur test

Prosedur test pada percobaan ini adalah sebagai berikut :

- a. Siapkan sampel tanah yang diuji.
- b. Keringkan benda uji dalam oven pada temperatur  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$  selama 24 jam, setelah itu dinginkan dan kemudian saring dengan saringan no. 40 (untuk sampel tanah disturbed).
- c. Cuci piknometer dengan air suling, kemudian dikeringkan dan selanjutnya timbang ( $w_1$  gram).
- d. Masukkan benda uji kedalam piknometer yang digunakan sampai  $1/3$  volume piknometer, kemudian timbang ( $w_2$  gram).
- e. Tambah air suling kedalam piknometer yang berisi benda uji, sehingga piknometer terisi dua pertiga.
- f. Panaskan piknometer yang berisi rendaman benda uji dengan hati-hati selama 10 menit atau lebih sehingga udara dalam benda uji keluar seluruhnya. Untuk mempercepat proses pengeluaran udara, piknometer dapat dimiringkan sekali-kali.
- g. Rendamlah piknometer dalam bak rendam, sampai temperaturnya tetap. Tambahkan air suling sampai leher piknometer. Keringkan bagian luarnya lalu timbang ( $w_3$  gram).
- h. Ukur temperatur isi piknometer atau botol ukur, untuk mendapatkan faktor koreksi (K).

Tabel 3.2 Tabel Daftar Factor Koreksi Terhadap Suhu

| Temperature ( $^{\circ}\text{c}$ ) | K      | Temperare ( $^{\circ}\text{c}$ ) | K      |
|------------------------------------|--------|----------------------------------|--------|
| 25                                 | 1.0000 | 18                               | 1.0016 |
| 26                                 | 0.9997 | 19                               | 1.0014 |
| 27                                 | 0.9995 | 20                               | 1.0012 |
| 28                                 | 0.9992 | 21                               | 1.0010 |
| 29                                 | 0.9989 | 22                               | 1.0007 |
| 30                                 | 0.9986 | 23                               | 1.0005 |
| 31                                 | 0.9983 | 24                               | 1.0003 |

Sumber : Buku Praktikum Laboratorium Tanah

- i. Kosongkan dan bersihkan piknometer yang akan digunakan.
- j. untuk sampel tanah undisturbed, sampel tanah dalam piknometer jangan dibuang. Sampel tanah tersebut dimasukkan kedalam cawan, lalu keringkan di oven untuk mengetahui berat keringnya.
- k. Isi piknometer dengan air suling yang temperaturnya sama, kemudian keringkan dan timbang (w4 gram).

3. Perhitungan

$$G_s = \frac{w_2 - w_1}{(w_4' - w_1) - (w_3 - w_2)} \dots\dots\dots (3.6)$$

Keterangan :

- G<sub>s</sub> = Berat Jenis Butiran Sedimen.
- W<sub>1</sub> = Berat Piknometer Kosong (gram).
- W<sub>2</sub> = Berat Piknometer + Tanah Kering (gram).
- W<sub>3</sub> = Berat Piknometer + Tanah kering + Air (gram).
- W<sub>4</sub> = Berat Piknometer + Air (gram).
- W<sub>4</sub>' = W<sub>4</sub> x faktor koreksi suhu (k).

Tabel 3.3 Tabel Ukuran Butiran Sedimen

| Jenis Tanah         | Berat Jenis |
|---------------------|-------------|
| Kerikil             | 2,65-2,68   |
| Pasir               | 2,65-2,68   |
| Lanau Tak Organik   | 2,62-2,68   |
| Lempung Organik     | 2,58-2,65   |
| Lempung Tak Organik | 2,68-2,75   |
| Humus               | 1,37        |
| Gambut              | 1,25-1,80   |

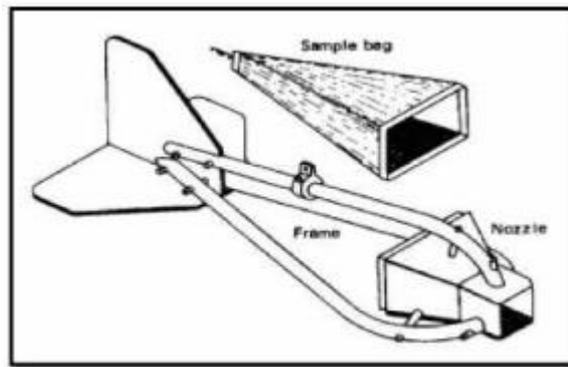
Sumber : HaryChristiady, *Mekanika Tanah 1*, 1992

### 3.5 Angkutan Sedimen

Angkutan sedimen atau transport sediment merupakan peristiwa terangkutnya material oleh aliran sungai. Bentuk, ukuran, dan beratnya partikel tersebut akan menentukan jumlah besaran angkutan sedimen. Terdapat banyak alat untuk menghitung besarnya angkutan sedimen (kironoto, 1997). Salah satunya menggunakan alat *Helley Smith*. Berikut adalah alat uji angkutan sedimen.

#### 1. Alat *Helley Smith* (WMO, 1989)

Alat ukur muatan sedimen dasar terdiri dari satu buah alat tampung sampel, kerangka alat, kabel, dan bagian ekor untuk menetapkan posisi alat agar searah dengan aliran sungai.



Gambar 3.5 Alat ukur sedimen dasar *Helley Smith* (WMO dalam Soewarno,1991)

Dimensi alat :

- a. Panjang = 100 cm
- b. Lebar = 60 cm
- c. Luas pintu masuk sedimen = 20 x 10 cm
- d. Banyak tampungan =  $\pm 10$  kg
- e. Berat alat kosong =  $\pm 25$  kg

#### 2. Metode Integrasi Kedalaman

Menurut Soewarno (1991) lokasi sedimen pada sungai yang dalam dan lebar, cara pengambilan sampelnya dapat dilaksanakan dari jembatan atau bantuan kabel melintang. Tidak disarankan pengambilan sample

sedimen dari jembatan di sebelah hilir karena biasanya turbulensi alirannya besar, terutama dekat pilar jembatan tersebut. Pengukuran muatan sedimen dasar dilakukan dengan cara menurunkan alat ukur sampai dasar sungai, catat waktu pengukuran misal setiap 60 menit. Pada setiap vertikal sebaiknya dilakukan pengukuran 3 kali. Vertikal pengukuran dapat dipilih berdasarkan cara EDI atau EWI seperti pada pengukuran muatan sedimen melayang, minimal dibutuhkan 20 buah vertikal, dan untuk setiap vertikal tidak lebih dari jarak 15 m. Air muatan sedimen dasar masuk ke dalam alat tampung hingga waktu yang diperkirakan dan alat diangkat. Kemudian dilakukan pengukuran volume muatan sedimen dasar yang tertampung per satuan waktu pengukuran.

a. Efisiensi Alat *Helley Smith*

Efisiensi alat muatan sedimen dasar harus ditentukan terlebih dahulu. Apabila debit muatan sedimen dasar telah dapat ditentukan terlebih dahulu maka akan lebih mudah dalam pengoperasiannya di lapangan. Efisiensi muatan sedimen dasar dapat dirumuskan sebagai berikut (Soewarno,1991) :

$$e = \frac{Ka}{Kr} \dots\dots\dots (3.7)$$

Keterangan :

- $e$  = Efisiensi alat ukur muatan sedimen dasar (%)
- $Ka$  = Kuantitas sedimen yang di tangkap oleh alat ukur muatan sedimen dasar
- $Kr$  = Kuantitas sedimen yang terangkut apabila tempat pengukuran tidak diletakkan alat ukur muatan sedimen dasar.

Efisiensi alat ukur sangat bervariasi dari 40 sampai 100% dan setiap alat berbeda efisiensinya. Debit muatan sedimen dasar per unit lebar yang diukur pada tiap *vertikal* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$qb = \frac{100.w}{e.b.t} \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan :

- $qb$  = Debit muatan sedimen dasar per unit lebar setelah dimodifikasi berdasarkan efisiensi alat.
- $W$  = Berat sampel yang tertangkap oleh alat ukur muatan sedimen dasar selama periode waktu  $t$ .
- $e$  = Efisiensi alat ukur muatan sedimen dasar (%).
- $b$  = Lebar mulut alat ukur muatan sedimen dasar.
- $t$  = Waktu lamanya pengukuran.

Apabila efisiensi alat belum diketahui dari kalibrasi maka dapat digunakan efisiensi dari tipe alat yang sama. Total debit muatan dasar seluruh penampang pengukuran dapat dilakukan secara integrasi sepanjang lebar aliran sungai yang diukur. Perhitungannya dapat dilakukan dengan metode grafis atau analitis, yaitu :

1. Pada metode grafis, debit muatan sedimen dasar di gambarkan sebagai ordinat, dan lebar aliran sungai digambarkan sebagai absis, total debit muatan adalah luas daerah yang dibatasi oleh ordinat, absis dan kurvanya, untuk pengecekan pada gambar yang sama juga di gambarkan kecepatan alirannya.
2. Pada metode analitis, perhitungan debit muatan sedimen dasar dihitung dengan rumus trapesium setiap dua vertikalnya pengukurannya. Untuk mengurangi pengaruh dari fluktuasi maka lamanya pengukuran mencapai  $1/3$ , atau  $2/3$  dari volume tampung alat ukur (Soewarno,1991).

### 3. Analisis Hitungan

Menurut Soewarno (1991) untuk mempermudah perhitungan konsentrasi sedimen rata-rata pada suatu titik *vertikal* dapat dilakukan cara sebagai berikut :

- a. Pada suatu vertikal dibagi dalam beberapa intervensi kedalaman  $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ .
- b. Posisi pengukuran adalah di tengah-tengah setiap bagian interval.
- c. Lamanya waktu pengukuran disetiap titik harus sama.

Pada cara ini dianggap bahwa kecepatan aliran dan konsentrasi sedimen di semua bagian interval sama, dengan demikian semakin rapat jarak semakin baik hasilnya. Besarnya angkutan sedimen pada setiap *vertikal* dapat dihitung dengan persamaan :

$$C = \frac{\sum_1^n ci.vi.\Delta Yi}{\sum_1^n vi.\Delta Yi} \dots\dots\dots(3.9)$$

Keterangan :

C = Konsentrasi sedimen rata-rata pada suatu vertikal.

N = Jumlah interval kedalaman 1,2,3,4,5....n.

Ci = Konsentrasi sedimen pada titik ke-i

Vi = Kecepatan aliran pada titik ke-i

$\Delta Yi$  = Panjang interval pada titik ke-i

Oleh karena  $Y1 = Y2 \dots\dots\dots, Yn$  maka persamaan dapat dirubah menjadi :

$$C = \frac{\sum_1^n ci.\Delta Yi}{\sum_1^n vi} \dots\dots\dots(3.10)$$

Pada interval ke-i , berat dan volume sedimen pada setiap botol sampel adalah :

$$Wi = a ti Ci Vi \dots\dots\dots(3.11)$$

$$Ui = a ti Vi \dots\dots\dots(3.12)$$

Keterangan :

Wi = Berat sedimen yang

a = Luas lingkaran mulut nozel

ti = Lamanya waktu pengukuran

Ci = Konsentrasi sedimen

Vi = Kecepatan aliran

Ui = Volume sampel sedimen (sedimen air)

Sekarang apabila sedimen itu diukur pada jumlah interval kedalaman 1 sampai n, maka persamaan 3.9 serta 3.10 masing-masing dapat dijumlahkan.

$$W = \sum_1^n W_i = \sum_1^n a \cdot t_i \cdot C_i \cdot V_i \dots\dots\dots(3.13)$$

$$U = \sum_1^n U_i = \sum_1^n a \cdot t_i \cdot V_i \dots\dots\dots(3.14)$$

Apabila lamanya waktu pengukuran disetiap titik adalah  $t_1 = t_2 = t_n$ , maka konsentrasi sedimen rata-rata pada *vertikal* tersebut adalah :

$$C = \frac{W}{U} = \frac{a \cdot t \cdot \sum_1^n C_i \cdot V_i}{a \cdot t \cdot \sum_1^n V_i} = \frac{\sum_1^n C_i \cdot V_i}{\sum_1^n V_i} \dots\dots\dots(3.15)$$

Hasil persamaan (3.8) harus sama dengan (3.13).

Apabila disetiap titik lamanya waktu pengukuran tidak sama, maka perhitungan konsentrasi rata-ratanya dapat ditempuh cara sebagai berikut:

- a. Lamanya waktu pengukuran disetiap titik harus dicatat.
- b. Berat dan volume sedimen dari setiap titik harus dibagi dengan lamanya waktu setiap titik pengukuran. Konsentrasi rata-rata pada vertikal yang dimaksud dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$C = \frac{\sum_1^n \frac{W_i}{t_i}}{\sum_1^n \frac{U_i}{t_i}} = \frac{\sum_1^n C_i \cdot V_i}{\sum_1^n V_i} \dots\dots\dots(3.16)$$

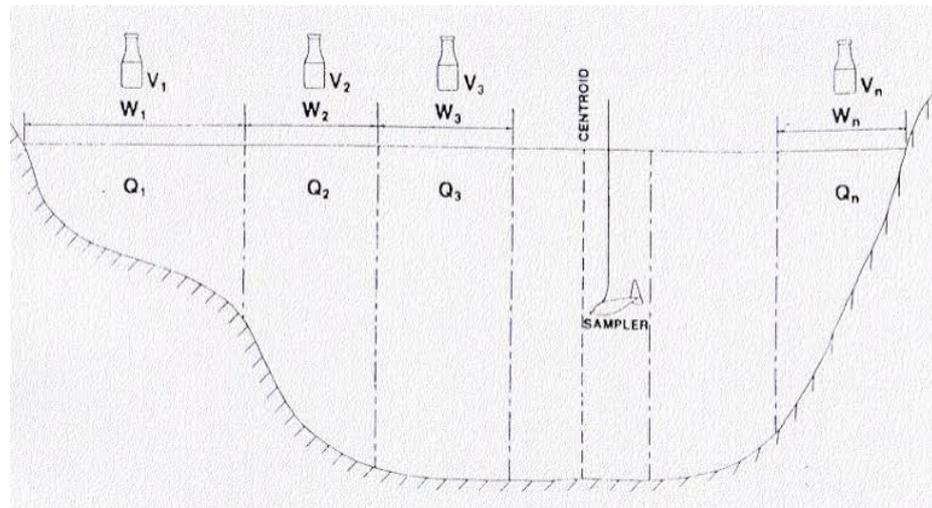
$$\frac{W_i}{t_i} = C_i \cdot V_i \text{ dan } \frac{U_i}{t_i} = V_i \dots\dots\dots(3.17)$$

Apabila pada suatu vertikal jarak titik *interval* pengukuran tidak sama maka perhitungannya harus menggunakan persamaan 3.10, pada setiap titik pengukuran berat dan volume sedimennya harus diperhitungkan berdasarkan fungsi dari interval kedalaman(Soewarno,1991).

1. *Equal Discharge Increment (EDI)*.

Dalam metode ini penampang sungai dibagi atas beberapa bagian, dimana setiap bagian ini harus mempunyai debit aliran yang sama.

Pengambilan sampel sedimen perlu dilaksanakan pada bagian tengah dari setiap sub-penampang tersebut seperti terlihat dalam gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pengambilan sampel sedimen dengan cara EDI  
(Soewarno,1991)

Bilamana akan dilakukan pengambilan tiga (3) sampel maka pengambilan sampel sedimen dilakukan pada vertikal yang mempunyai besar aliran kumulatif sebesar 1/6, 3/6 dan 5/6 dari debit total pada penampang tersebut.

$$W_1, W_2, W_3, W_n \dots \dots \dots (3.18)$$

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \dots = Q_n \dots \dots \dots (3.19)$$

$$V_1 \gg V_2 \gg V_3 \gg \dots \gg V_n \dots \dots \dots (3.20)$$

Keterangan :

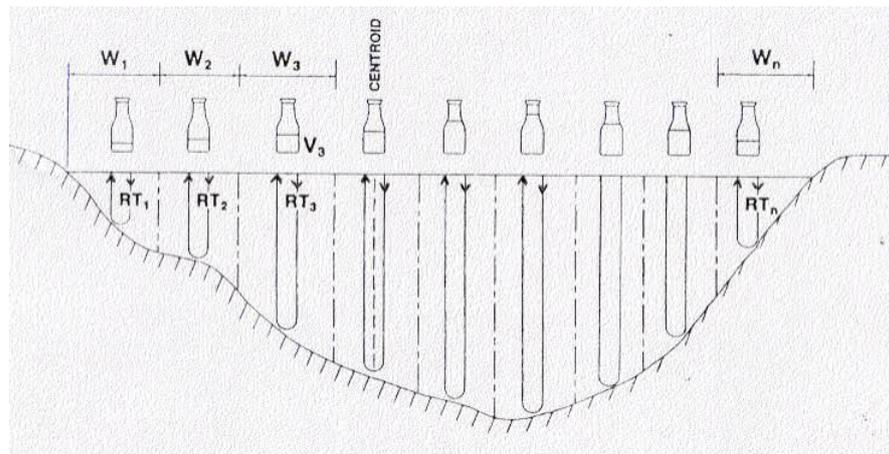
W = Jarak antara vertikal

Q = Debit per segmen

V = volume sampel sedimen (misal berkisar antara 350-400 ml).

2. *Equal Width Increment (EWI)*

Dalam metode ini penampang sungai dibagi atas beberapa bagian dimana setiap bagian mempunyai jarak yang sama satu sama lainnya seperti terlihat dalam gambar 3.7.



Gambar 3.7 Pengambilan sampel sedimen dengan cara EWI

(Soewarno,1991)

Jumlah *vertikal* ditetapkan berdasarkan kondisi aliran dan sedimen serta tingkat ketelitian yang diinginkan. Lokasi pengambilan sampel sedimen ditentukan dengan cara rata-rata tengah. Misalnya lebar sungai adalah 53 m, jumlah vertikal ditetapkan 10 buah, maka jarak *vertikal* diambil setiap 5 m. Dengan demikian maka lokasi pengukuran adalah pada rata yang terletak pada meteran: 2,5; 7,5; 12,5; 17,5; 22,5; 27,5; 32,5; 37,5; 42,5; 47,5.

### 3.5.1 Perhitungan Angkutan Sedimen Dasar

Dalam menentukan besarnya angkutan sedimen dasar sebelumnya harus mempunyai data debit aliran ( $Q$ ), lebar saluran/sungai ( $b$ ), kemiringan dasar ( $S$ ), jumlah sedimen yang terangkut, dapat dilakukan menggunakan dua cara yaitu :

a. Perhitungan Langsung di Lapangan

- 1) Mengambil langsung di dasar sungai.
- 2) Menggunakan alat, *Helley Smith*.

b. Perhitungan Menggunakan Rumus Empiris

- 1) Meyer-Peter dan Muller (MPM).
- 2) Metode Einstein.
- 3) Metode Frijlink.

### 3.6 Mekanisme Pengangkutan Sedimen

Mekanisme pengangkutan butir-butir tanah yang dibawa dalam air yang mengalir dapat digolongkan menjadi beberapa bagian sebagai berikut :

a. *Wash Load Movement*

Butir-butir tanah yang sangat halus berupa lumpur yang bergerak bersama-sama dalam aliran air, konsentrasi sedimen merata di semua bagian pengaliran. Bahan *wash load* berasal dari pelapukan lapisan permukaan tanah yang menjadi lepas berupa debu-debu halus selama musim kering. Debu halus ini selanjutnya dibawa masuk ke saluran atau sungai baik oleh angin maupun oleh air hujan yang turun pertama pada musim hujan, sehingga jumlah sedimen pada awal musim hujan lebih banyak dibandingkan dengan keadaan yang lain.

b. *Suspended Load Movement*

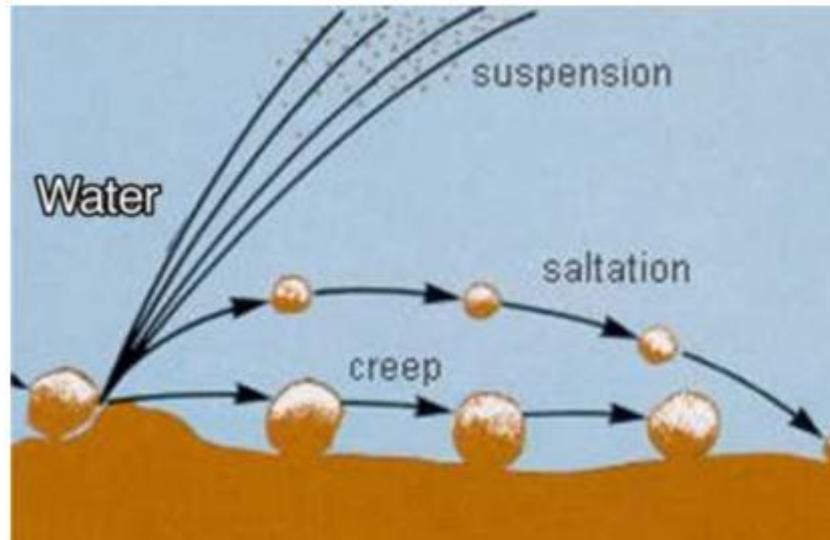
Butir-butir tanah bergerak melayang dalam aliran air. Gerakan butir-butir tanah ini terus menerus dikompresir oleh gerak turbulensi aliran sehingga butir-butir tanah bergerak melayang di atas saluran. Bahan *suspended load* terjadi dari pasir halus yang bergerak akibat pengaruh turbulensi aliran, debit, dan kecepatan aliran. Semakin besar debit, maka semakin besar pula angkutan *suspended load*.

c. *Saltation Load Movement*

Pergerakan butir-butir tanah yang bergerak dalam aliran air antara pergerakan *suspended load* dan *bed load*. Butir-butir tanah bergerak secara terus menerus meloncat-loncat (*skip*) dan melambung (*bounce*) sepanjang saluran tanpa menyentuh dasar saluran. Bahan-bahan *saltation load* terdiri dari pasir halus sampai dengan pasir kasar.

d. *Bed Load Movement*

Merupakan angkutan butir-butir tanah berupa pasir kasar (*coarse sand*) yang bergerak secara menggelinding (*rolling*), mendorong dan menggeser (*pushing and sliding*) terus menerus pada dasar aliran yang pergerakannya dipengaruhi oleh adanya gaya seret (*drag force*) aliran yang bekerja di atas butir-butir tanah yang bergerak.



Gambar 3.8 Ragam Gerakan Sedimen Dalam Air (sumber : aditya, 2003)

### 3.7 Angkutan Melayang (*Suspended Load*)

Sedimen layang adalah partikel butiran yang bergerak melayang di atas dasar saluran terbawa bersama aliran air. Laju sedimen layang sangat dipengaruhi oleh laju erosi lahan di bagian hulu daerah aliran salurannya. Pada daerah hilir keberadaan sedimen layang akan menimbulkan dampak negatif seperti penurunan kualitas air, pendangkalan saluran, pengurangan kapasitas waduk dan lain sebagainya. Muatan layang (*suspended load*) adalah partikel yang bergerak dalam pusaran aliran yang cenderung terus menerus melayang bersama aliran. Ukuran partikelnya lebih kecil dari 0,1 mm.

### 3.8 Angkutan Dasar (*Bed Load*)

Angkutan dasar (*bed load*) adalah partikel yang bergerak pada dasar saluran dengan cara berguling, meluncur dan meloncat. Muatan dasar saluran keadaanya selalu bergerak, oleh sebab itu pada sepanjang aliran dasar saluran selalu terjadi proses degradasi dan aggradasi yang disebut sebagai “alterasi dasar saluran”. Beberapa formulasi untuk menghitung jumlah muatan dasar telah dikembangkan oleh beberapa peneliti dari tahun ke tahun.

Dalam perhitungan angkutan sedimen, kesukarannya adalah tidak adanya aturan yang pasti sehingga kita hanya mengikuti saran dan aturan-aturan yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Berikut metode pendekatan

empirik yang sering digunakan dalam memprediksi laju angkutan dasar (*bed load*) (Priyantoro, 1987).

### 3.8.1 Metode Meyer Peter dan Muller (MPM)

M.P.M (1948) melakukan percobaan beberapa kali pada *flume* dengan *coarse-sand* dan menghasilkan hubungan empiris antara  $\phi$  dan  $\Psi'$  sebagai berikut:

$$Q_b = \phi (g \cdot \Delta \cdot D_m^3)^{1/2} \dots\dots\dots(3.21)$$

$$\Phi = (4\Psi' - 0,188)^{3/2} \dots\dots\dots(3.22)$$

Keterangan :

- $Q_b$  = Volume angkutan persatuan waktu ( $m^3/dt/m$ ),
- $\Phi$  = Intensitas angkutan sedimen,
- $g$  = Gravitasi ( $m/dt^2$ ),
- $\Delta$  = Rasio perbandingan antara rapat massa butiran dengan rapat massa air ( $\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$ ),
- $D_m$  = Diameter efektif =  $D_{50} - D_{60}$  (m),
- $\Psi$  = Intensitas pengaliran,
- $\rho_s$  = Rapat massa butiran ( $kg/m^3$ ),
- $\rho_w$  = Rapat massa air ( $kg/m^3$ ).

Intensitas pengaliran dirumuskan sebagai berikut :

$$\Psi = \frac{\mu \cdot g \cdot R \cdot I}{\Delta \cdot D_m} \dots\dots\dots(3.23)$$

dengan :

- $\Psi$  = Intensitas pengaliran,
- $\mu$  = Ripple factor =  $(C/C')^{3/2}$ ,
- $R$  = Jari-Jari hidrolis (m),
- $I$  = Kemiringan dasar saluran,
- $D_m$  = Diameter butiran efektif =  $D_{50} - D_{60}$  (m),
- $C$  = Friction factor angkutan,
- $C'$  = Friction factor intensif.

Sedangkan untuk mencari *friction factor* angkutan (C) dan *friction factor intensif* (C') adalah :

$$C = \frac{\bar{V}}{\sqrt{R \cdot I}} \dots\dots\dots(3.24)$$

$$C' = 18 \log \frac{12 \cdot R}{D_{90}} \dots\dots\dots(3.25)$$

Keterangan :

- $\bar{V}$  = Kecepatan rerata (m/dt),
- R = Jari-Jari hidraulik (m),
- I = Kemiringan dasar saluran,
- D90 = Diameter butiran lolos saringan 90%.

Dengan demikian jumlah sedimen yang terangkut per meter persatuan waktu dapat dihitung dengan rumus :

$$S = \left( \Phi (g \cdot \Delta \cdot D_{55}^3)^{1/2} \right) \dots\dots\dots(3.26)$$

Keterangan :

- $\Phi$  = Intensitas angkutan sedimen,
- G = Percepatan gravitasi (9,81 m/dt<sup>2</sup>),
- $\Delta$  = Rasio perbandingan antara rapat massa butiran dengan rapat massa air,
- D55 = Diameter butiran lolos saringan 55% (mm).

### 3.8.2 Metode Einstein

Einstein (1950) menetapkan persamaan muatan dasar sebagai persamaan yang menghubungkan material dasar dengan pengaliran setempat (*local flow*). Persamaan itu menggambarkan keadaan seimbang dari pada pertukaran butiran dasar antara lapisan dasar (*bed layer*) dan dasarnya. Einstein menggunakan D=D35 untuk parameter angkutan, sedangkan untuk kekasaran digunakan D=D65. Hubungan antara kemungkinan butiran akan terangkut dengan intensitas angkutan dasar dijabarkan sebagai berikut :

$$Q_b = \phi (g \cdot \Delta \cdot D_{35}^3)^{1/2} \dots\dots\dots(3.27)$$

$$\Phi = 0,044638 + 0,36249\Psi' - 0,226795 \Psi'^2 + 0,036 \Psi'^3 \dots\dots\dots(3.28)$$

Keterangan :

- Q<sub>b</sub> = Volume angkutan (m<sup>3</sup>/dt/m),
- Φ = Intensitas angkutan sedimen,
- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/dt<sup>2</sup>),
- Δ = Rasio perbandingan antara rapat massa butiran dengan rapat massa air = (ρ<sub>s</sub> - ρ<sub>w</sub>) / ρ<sub>w</sub>,
- D<sub>35</sub> = Diameter butiran lolos saringan 35%,
- Ψ' = Intensitas pengaliran efektif ,
- ρ<sub>s</sub> = Rapat massa butiran (kg/m<sup>3</sup>),
- ρ<sub>w</sub> = Rapat massa air (kg/m<sup>3</sup>).

Intensitas pengaliran efektif dirumuskan sebagai berikut : (Priyantoro,1987)

$$\Psi' = \frac{\mu \cdot R \cdot I}{\Delta \cdot D_{35}} \dots\dots\dots(3.29)$$

keterangan :

- Ψ' = Intensitas pengaliran efektif,
- Δ = Rasio perbandingan antara rapat massa butiran dengan rapat massa air,
- μ = Ripple factor = (C/C')<sup>3/2</sup>,
- R = Jari-jari hidrolik (m),
- I = Kemiringan dasar sungai,
- D<sub>35</sub> = Diameter butiran lolos saringan 35% (mm).

Sedangkan untuk mencari *friction factor* angkutan (C) sama seperti rumus M.P.M dan *friction factor intensif* (C') adalah :

$$C' = \frac{18 \log \frac{12 \cdot R}{D_{65}}}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots(3.30)$$

Keterangan :

R = Jari-jari hidrolik (m),

I = Kemiringan dasar sungai,

D65 = Diameter butiran lolos saringan 65% (mm).

Dengan demikian jumlah sedimen yang terangkut permeter persatuan waktu dapat dihitung dengan rumus :

$$S = \left( \Phi (g \cdot \Delta \cdot D_{35}^3)^{1/2} \right) \dots \dots \dots (3.31)$$

Keterangan :

$\Phi$  = Intensitas angkutan sedimen,

G = Percepatan gravitasi (9,81 m/dt<sup>2</sup>),

$\Delta$  = Rasio perbandingan antara rapat massa butiran dengan rapat massa air,

D35 = Diameter butiran lolos saringan 35% (mm).

### 3.8.3 Metode Frijlink

Dasar dari persamaan Frijlink adalah rumus atau persamaan dalam menghitung besaran angkutan sedimen dasar (*bed load*) haruslah memperhitungkan konfigurasi dasar sungai secara khusus. Dalam hal tersebut Frijlink menjabarkan nilai *Ripple Factor* sebagai berikut :

$$\mu = \left( \frac{c}{C_{d90}} \right)^{3/2} \dots \dots \dots (3.32)$$

Dengan :

$\mu$  = *Ripple factor*.

C = Koefisien chezy total (kekasaran butiran + konfigurasi dasar sungai).

$C_{d90}$  = Koefisien chezy akibat kekasaran butiran dengan diameter *d90*.

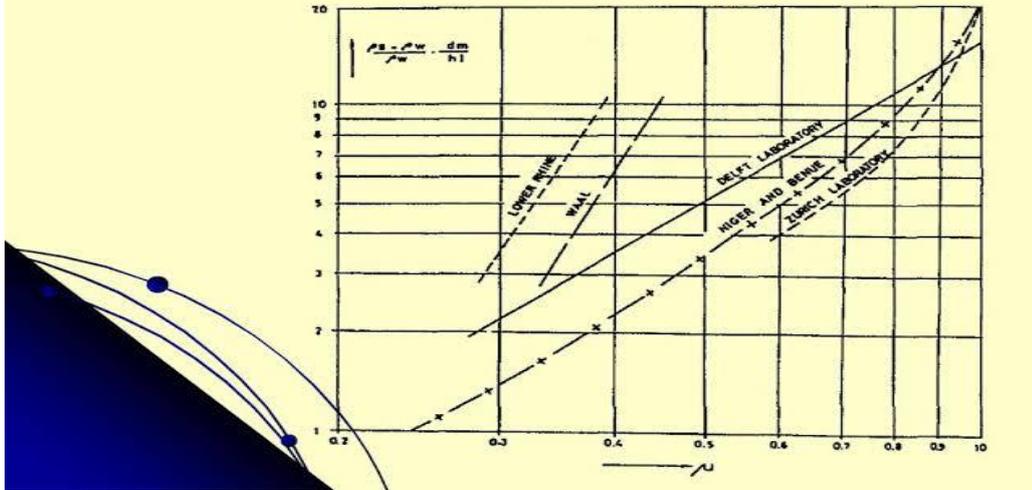
$$\left( \frac{k_s}{k_s'} \right)^{3/2} = \text{Riple factor} \dots \dots \dots (3.33)$$

Dengan :

$k_s$  = Koefisien kekasaran strickler.

$k_s'$  = Kekerasan akibat butiran.

### Grafik Frijlink untuk Ripple Factor, $\mu$



Gambar 3.5 Grafik *Ripple Factor* (Kironoto, 1997).

Sedangkan persamaan untuk menentukan nilai koefisien *Chezy* baik yang dipengaruhi oleh kekasaran butiran maupun konfigurasi dasar tersebut adalah :

$$C = 18 \log \frac{12 \cdot R}{k} \dots\dots\dots(3.34)$$

Dengan :

C = Nilai koefisien *chezy* total.

R = Radius hidrolis.

k = Koefisien kekerasan.

$$C_{d90} = 18 \log \frac{12 \cdot R}{d_{90}} \dots\dots\dots(3.35)$$

Dengan :

$C_{d90}$  = Koefisien *Chezy* dengan diameter *representatif*  $d_{90}$ .

R = Radius hidraulik .

$d_{90}$  = Diameter *representatif* 90%.

Untuk dasar saluran yang rata nilai koefisien *Chezy* total sama dengan nilai koefisien *Chezy* akibat kekasaran butiran ( $C = C_{d90}$  ) maka dapat disimpulkan nilai *Ripple factor* ( $\mu$ ) untuk saluran dengan dasar rata = 1.

Pada tahun 1952 Frijlink menurunkan perasamaan untuk menghitung besaran angkutan sedimen dasar sebagai berikut :

$$\frac{Tb}{dm\sqrt{g.u.R.I}} = 5e^{-0,21 \frac{\Delta dm}{u.R.I}} \dots\dots\dots(3.36)$$

Dengan :

Tb = Nilai angkutan sedimen dasar.

$d_m$  = Diameter butiran *representatif* = d50.

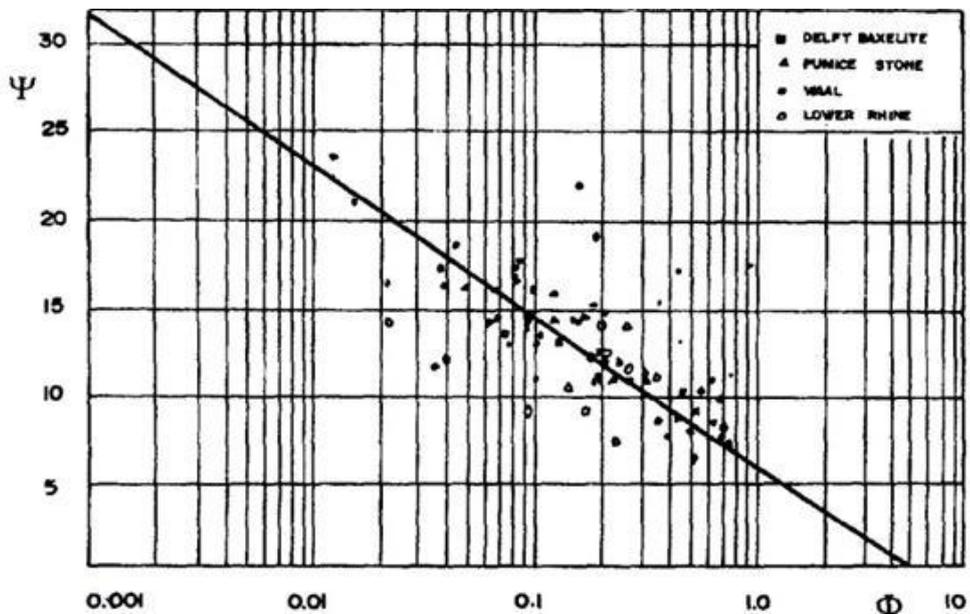
g = Gravitasi.

$\mu$  = Riple factor.

R = Radius hidrolik.

I = Kemiringan dasar/*slope*.

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$$



Gambar 3.6 Grafik angkutan sedimen Frijlink (Kironoto, 1997).